

①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

①2 **Offenlegungsschrift**  
①1 **DE 3842819 A 1**

②1 Aktenzeichen: P 38 42 819.9  
②2 Anmeldetag: 20. 12. 88  
④3 Offenlegungstag: 21. 6. 90

⑤1 Int. Cl. 5:  
**C 07 F 15/00**

C 07 F 7/00  
C 07 F 9/00  
C 07 F 11/00  
C 07 F 1/00  
C 01 G 49/16  
C 01 G 51/02  
C 01 G 53/02  
C 01 G 55/00  
// B01J 31/22,31/12,  
31/20,B01D 71/00

DE 3842819 A 1

⑦1 Anmelder:  
Hoechst AG, 6230 Frankfurt, DE

⑦2 Erfinder:  
Bahrmann, Helmut, Dipl.-Chem. Dr., 4236  
Hamminkeln, DE; Haubs, Michael, Dipl.-Chem. Dr.,  
6550 Bad Kreuznach, DE; Kreuder, Willi, Dipl.-Chem.  
Dr., 6500 Mainz, DE; Müller, Thomas, Dipl.-Ing., 4220  
Dinstaken, DE

⑤4 Verfahren zur Abtrennung von metallorganischen Verbindungen und/oder Metallcarbonylen aus ihren  
Lösungen in organischen Medien

Die Abtrennung von metallorganischen Verbindungen  
und/oder Metallcarbonylen aus ihren Lösungen in organi-  
schen Medien erfolgt erfindungsgemäß mit Hilfe semiper-  
meabler Membranen aus einem aromatischen Polyamid.

DE 3842819 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Abtrennung von metallorganischen Verbindungen und/oder Metallcarbonylen; beide Verbindungsklassen werden im folgenden auch kurz als Metallverbindungen bezeichnet, die in organischen Medien gelöst sind, durch Membranfiltration.

Organische Verbindungen und Carbonylverbindungen der Übergangsmetalle, insbesondere Verbindungen, die als Zentralatom ein Metall der Platingruppe enthalten, finden in zunehmendem Umfang Verwendung als Katalysatoren in industriell ausgeübten chemischen Prozessen. Wesentlichen Einfluß auf die Wirtschaftlichkeit dieser Verfahren hat die Rückgewinnung des Katalysators. Sie soll möglichst verlustfrei erfolgen und geringen Aufwand erfordern.

Es hat daher nicht an Versuchen gefehlt Techniken zu entwickeln, die diesen Forderungen genügen. Dabei verfolgt man in der Hauptsache zwei Arbeitsrichtungen. Die eine begnügt sich damit, das Katalysatormetall wieder zu erhalten, nimmt also den Abbau der katalytisch wirksamen Verbindung in Kauf. Thermische Spaltung, Reduktion und Oxidation und Fällungsvorgänge dominieren diese Verfahren. Die andere Arbeitsrichtung strebt an, die katalytisch aktive Metallverbindung nicht zu zerstören, sondern sie unversehrt zurückzugewinnen, so daß sie ohne weitere Aufbereitung in den Prozeß rezirkuliert werden kann. Auf diese zweite Variante der Rückgewinnung von metallorganischen Verbindungen oder Metallcarbonylen wird im folgenden näher eingegangen.

Ein möglicher Weg zur Abtrennung metallorganischer Koordinationskomplexe aus organischen Flüssigkeiten besteht in der Anwendung selektiver Trennmembranen. So wird in der DE-OS 19 12 380 ein Verfahren beschrieben, bei dem man das Gemisch des Komplexes mit einer oder mehreren organischen Komponenten mit einer Seite einer Cellulosemembran unter Druck in Berührung bringt. Die Verhältnisse von Molekülgröße und -form des Komplexes zu Molekülgröße und -form der organischen Komponenten sind derart, daß das durch die Membran hindurchtretende Material einen verringerten Komplexgehalt hat.

Auch die DE-OS 19 53 641 beschreibt ein Verfahren zur Abtrennung metallorganischer Verbindungen aus einer Lösung der Verbindungen in einem organischen Lösungsmittel unter Verwendung einer Membran. Diese Arbeitsweise ist dadurch gekennzeichnet, daß man eine Silikonkautschukmembran einsetzt.

Weiterhin entfernt man nach einem in der GB-PS 12 66 180 beschriebenen Verfahren metallorganische Verbindungen aus ihren Lösungen in organischen Lösungsmitteln mit Hilfe einer Polyamidmembran.

Schließlich beschreibt die DE-OS 24 14 306 die Trennung von metallorganischen Verbindungen aus organischen Lösungen mit einer Polyacrylnitril-Membran.

Die vorstehend aufgeführten Trennverfahren haben jedoch den Nachteil, daß die Membranen in den zum Teil aggressiven organischen Lösungsmitteln nicht stabil sind, insbesondere bei Druck- und Temperaturbelastung quellen und dadurch ihre vorteilhaften Eigenschaften verlieren. Aus diesem Grund hat sich in der industriellen Praxis für solche Trennaufgaben kein Membranverfahren durchsetzen können.

Es bestand daher die Aufgabe, ein Verfahren zu entwickeln, mit dem es gelingt, metallorganische Verbindungen und/oder Metallcarbonyle aus organischen Medien mit Hilfe solcher Membranen abzutrennen, die neben den erforderlichen Trenneigenschaften unter den gewählten Arbeitsbedingungen auch eine hohe Stabilität besitzen und damit eine einfache und effektive Abtrennung der metallorganischen Verbindungen bzw. der Metallcarbonyle aus organischen Medien ermöglichen.

Die Erfindung besteht somit in einem Verfahren zur Abtrennung von metallorganischen Verbindungen und/oder Metallcarbonylen aus ihren Lösungen in organischen Medien. Es ist dadurch gekennzeichnet, daß man die Lösungen mit einer semipermeablen Membran aus einem aromatischen Polyamid (Polyaramid) in Kontakt bringt. Als treibende Kraft für den Trennvorgang kann hierbei sowohl eine Druckdifferenz (Druckfiltration) als auch eine Konzentrationsdifferenz (Dialyse) dienen.

Überraschenderweise gelingt es nach dem neuen Prozeß, metallorganische Verbindungen und/oder Metallcarbonyl unverändert, d. h. ohne daß sie zersetzt werden oder eine andere Umwandlung erfahren, nahezu verlustfrei wiederzugewinnen. Von besonderer Bedeutung ist in diesem Zusammenhang, daß die Membran weder durch Druck- noch durch Temperatureinwirkung in den organischen Medien ihre vorteilhaften Trenneigenschaften einbüßt.

Unter metallorganischen Verbindungen im Sinne der vorliegenden Erfindung versteht man Verbindungen, in denen Kohlenstoffatome organischer Gruppen an Metallatome gebunden sind. Zu den Metallen zählen auch die sogenannten Halbmetalle, wie Bor und Silicium und auch Phosphor. Als metallorganisch werden erfindungsgemäß auch solche, in einem organischen Lösungsmittel lösliche Verbindungen bezeichnet, in denen die Bindung zwischen Metall und Kohlenstoff über Stickstoff, Sauerstoff oder Schwefel erfolgt. Beispiele für diese Verbindungen sind Acetylacetonate und Dimethylglyoxime.

Die metallorganischen Verbindungen, die neben Kohlenstoff auch Stickstoff und Sauerstoff enthalten können, leiten sich vorzugsweise von den Elementen der Gruppen IVA, VA, VIA, VIIA, VIIIA und IB des Periodensystems der Elemente ab. Besondere Bedeutung haben metallorganische Verbindungen der Elemente Mangan, Kobalt, Nickel, Palladium, Platin, Iridium und Rhodium.

Der Begriff Metallcarbonyle ist nicht auf Verbindungen beschränkt, die allein aus Metall und CO bestehen, sondern erstreckt sich auch auf solche Verbindungen, die noch weitere Liganden wie Wasserstoff, Olefine, Phosphane, Acetat, Benzonitril enthalten. Als Carbonyle kommen solche von Metallen der Gruppen VIA, VIIA und VIIIA des Periodensystems in Betracht, insbesondere Carbonyle des Eisens, Kobalts, Nickels, Rutheniums, Rhodiums und Iridiums.

Die erfindungsgemäß eingesetzten Membranen bestehen aus einem aromatischen Polyamid, auch Polyaramid genannt und sind bekannt. Man erhält die Polymeren durch Polykondensation aus aromatischen Dicarbonsäuren bzw. Dicarbonsäurederivaten und aromatischen Diaminen in einem dipolar aprotischen Lösungsmittel. Als Carbonsäurekomponente kommen z. B. Terephthalsäure, 4,4'-Diphenyldicarbonsäure, 4,4'-Diphenyletherdicar-

bonsäure, 4,4'-Diphenylsulfondicarbonsäure oder 2,6-Naphthalindicarbonsäure in Betracht. Als Diaminkomponente sind p-Phenylendiamin, 3,3'-Dimethoxybenzidin, 3,3'-Dichlorbenzidin, 3,3'-Dimethylbenzidin, 4,4'-Diaminodiphenylmethan, 2,2-Bis-(4-aminophenyl)propan oder 1,4-Bis(4-aminophenoxy)benzol geeignet.

Besondere Bedeutung haben Membranen aus solchen Polyaramiden, die neben einer Carbonsäurekomponente verschiedene Diamine als Monomere enthalten. So haben sich z. B. Polyamide bewährt, die aus Terephthalsäure, p-Phenylendiamin, 1,4-Bis(4-aminophenoxy)benzol und 3,3'-Dimethylbenzidin aufgebaut sind. In den Polymeren können die Amine statistisch verteilt sein. Die Polyamide können aber auch die Struktur von Blockcopolymerisaten besitzen.

Das mittlere Molekulargewicht der Polyamide kann sich über einen weiten Bereich erstrecken. Üblicherweise beträgt es 5000 bis 200 000. Bevorzugt werden Polyamide mit einer Molmasse von 10 000 bis 50 000.

Zur Herstellung der erfindungsgemäßen Membranen hat sich ein Verfahren bewährt, das in der deutschen Patentanmeldung P 38 02 030 beschrieben ist. Die hier offenbarten Membranen bestehen aus einem Copolyamid, das aus drei unterschiedlichen Diaminen und einer Dicarbonsäure aufgebaut ist. Eine Lösung dieses Copolyamids in einem aprotischen, polaren Lösungsmittel vom Amidtyp, z. B. N-Methyl-2-pyrrolidon, wird auf eine plane Unterlage als flüssige Schicht ausgebreitet. Diese flüssige Schicht trägt man in die Fällflüssigkeit, insbesondere Wasser, ein, die mit dem Lösungsmittel der Lösung mischbar ist, das Polymerisat jedoch als Membran abscheidet. Man läßt die Fällflüssigkeit solange auf die ausgefällte Membran einwirken, bis das Lösungsmittel vollständig durch die Fällflüssigkeit ersetzt ist. Sofern erforderlich, kann die Membran noch einer Wärmebehandlung unterzogen werden. Anschließend wird die Membran, gegebenenfalls nach vorheriger Behandlung mit Glycerin, getrocknet.

Die nach dem vorstehend beschriebenen Verfahren hergestellten Membranen sind integral asymmetrisch, sie sind dem Fachmann prinzipiell bekannt. Die Membranen besitzen eine sehr dünne, trennaktive Schicht, deren Dicke 0,05 bis 5  $\mu$  beträgt und eine poröse Stützstruktur. Die Dicke der aus trennaktiver Schicht und Stützstruktur bestehenden Membran kann 10 bis 400  $\mu$  betragen, sie liegt vorzugsweise im Bereich von 50 bis 200  $\mu$ .

Die Form der Membran kann beliebig gewählt werden. Sie kann als Scheibe und insbesondere als Hohlzylinder oder Kapillare ausgebildet sein, aber auch jede andere für die vorgesehene Verwendung geeignete Gestalt haben. Maßgebend ist die Erzielung einer möglichst hohen Stabilität und überdies einer größtmöglichen Oberfläche je Volumeneinheit, um einen zufriedenstellenden Durchsatz zu erreichen.

Es empfiehlt sich, die Membran vor dem Einsatz vorzubehandeln. Im einfachsten Fall taucht man sie in die zu trennende Lösung. Aber auch andere Konditionierungsverfahren sind möglich. Wurde die Membran z. B. durch Ausfällung mit Wasser hergestellt, so ersetzt man das Wasser z. B. durch i-Propanol, indem man die Membran in i-Propanol einlegt und den Alkohol mehrfach erneuert. Danach wird das i-Propanol in gleicher Weise durch das organische Medium ersetzt, in dem die abzutrennenden Metallverbindungen gelöst sind. Art und Methode der Konditionierung der Membran bestimmen die beim erfindungsgemäßen Verfahren einzuhaltenden Arbeitsbedingungen.

Die maßgebenden Variablen, mit denen der Trennvorgang beeinflußt werden kann, sind bei gegebener gelöster Metallverbindung der angewandte Druck, die Temperatur der Lösung, die Art des Lösungsmittels und die Konzentration der Metallverbindung in der Lösung.

Die Durchführung des Trennvorganges nach dem erfindungsgemäßen Verfahren kann entweder als Druckfiltration oder als Dialyse erfolgen. Im ersten Fall muß zwischen der Retentatseite und der Permeatseite der Membran ein Druck aufrechterhalten werden, der größer ist als der osmotische Druck des Systems, d. h. der Lösungen unterschiedlicher Konzentration zu beiden Seiten der Membran. Zweckmäßig beträgt die Druckdifferenz an der Membran 0,1 bis 15 MPa, vorzugsweise 0,1 bis 10 MPa und insbesondere 0,2 bis 2 MPa. Im zweiten Fall läßt man eine Spüllösung an der Permeatseite der Membran im Gegenstrom vorbeiströmen. Dieses als Dialyse bezeichnete Verfahren ist besonders vorteilhaft in einem Hohlzylinder- bzw. Kapillarmodul durchzuführen. Als Spüllösungen eignen sich z. B. organische Lösungsmittel. Die Arbeitstemperaturen bei beiden Verfahrensvarianten betragen 0 bis 200°C und insbesondere 40 bis 130°C.

Die Konzentrationen der abzutrennenden Metallverbindungen in den Einsatzlösungen können sich über einen weiten Bereich erstrecken. Das erfindungsgemäße Verfahren erlaubt es mit Erfolg, gelöste Metallverbindungen abzutrennen, deren Konzentration wenige ppm beträgt, wie auch Metallverbindungen, deren Konzentration im Prozentbereich liegt. Es hat sich jedoch als zweckmäßig erwiesen, daß die Konzentrationen der metallorganischen Verbindungen und/oder der Metallocarbonyle im organischen Medium 20 Gew.-% nicht übersteigen. Bei technischen Verfahren sind Einsatzlösungen von Bedeutung, die 2 bis 400 Gew.-% ppm der Metallverbindungen enthalten. Sie werden mit besonderem Erfolg eingesetzt.

Die lineare Strömungsgeschwindigkeit über der Membran liegt im Bereich von 0,1 bis 10 m/sec, vorzugsweise 0,5 bis 2,5 m/sec.

Der Trenneffekt beruht wahrscheinlich darauf, daß die kleinen Komponenten der eingesetzten Lösung, die je nach Herkunft z. B. nicht umgesetzte Ausgangsstoffe, Reaktionsprodukte und gegebenenfalls ein Lösungsmittel bzw. Lösungsmittelgemisch als Reaktionsmedium enthält, leichter durch die trennaktive Schicht der Membran hindurchtreten können als die Metallverbindung. Dementsprechend werden die besten Trennergebnisse erreicht, je größer das Volumen der Metallverbindung und je ausgeprägter der Größenunterschied zwischen Metallverbindung und den übrigen Bestandteilen der Lösung ist. Zweckmäßig hat die Metallverbindung einen wenigstens 50% größeren Querschnitt als die größte organische Komponente. In erster Näherung kann man statt der Molekülgröße das Molekulargewicht der Komponenten zur Abschätzung der Güte der Trennung heranziehen. Es ist vorteilhaft, wenn der Unterschied im Molekulargewicht zwischen der Metallverbindung und den organischen Bestandteilen des Gemischs möglichst groß ist.

Das erfindungsgemäße Verfahren kann absatzweise oder kontinuierlich in einer oder in mehreren Stufen durchgeführt werden. Im allgemeinen wird man die Membran außerhalb der Reaktionszone anordnen, um

Reaktionsbedingungen und Trennbedingungen, z. B. Druck und Temperatur, unabhängig voneinander optimieren zu können.

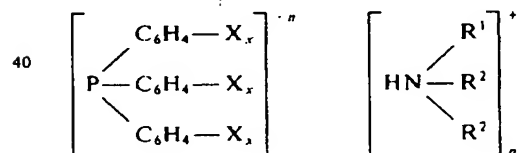
Bei der einstufigen Variante wird die Einsatzlösung unter Druck der Membran zugeführt. Im einfachsten Fall zieht man das Permeat ab und entnimmt der Trennvorrichtung nach Erreichen der gewünschten Konzentration die angereicherte Lösung. Zur Erhöhung der Trennleistung läßt sich diese Arbeitsweise auch kontinuierlich betreiben. Dann strömt die Einsatzlösung längs der Membran, wird aufkonzentriert und ebenso wie das Permeat kontinuierlich abgezogen.

Die mehrstufige Trennung wird entweder mit parallel oder mit in Reihe geschalteten Trennstufen durchgeführt. Die Reihenschaltung, bei der in jeder Stufe das Permeat abgetrennt und die aufkonzentrierte Lösung der nächstfolgenden Trennstufe zugeleitet wird, erlaubt eine besonders effektive Nutzung des vorhandenen Systemdruckes, d. h. des Arbeitsdruckes im vorausgegangenen Verfahrensschritt und ermöglicht die Gewinnung höher konzentrierter Lösungen. Führt man dagegen das Permeat aufeinanderfolgenden Trennstufen zu, kann man die gelösten Stoffe, abhängig von der Anzahl der Trennstufen, nahezu vollständig wiedergewinnen.

Eine weitere Erhöhung der Trennleistung der Membran bei Anwendung der vorstehend beschriebenen Verfahrensvarianten erreicht man durch Erhöhung der Überströmung der Membran mit Hilfe einer Umwälzpumpe.

Schließlich kann man durch Zugabe einer Spüllösung auf der Permeatseite der Membran im Gleich- und vorzugsweise im Gegenstrom zur Aufgabeseite die Konzentration des gelösten Stoffes im Permeat verringern und dadurch die treibende Kraft (Differenz der Konzentrationen) erhöhen (Dialyseprinzip).

Das neue Verfahren hat sich u. a. ausgezeichnet zur Abtrennung von metallorganischen Verbindungen und/oder Metallcarbonylen aus Reaktionslösungen bewährt, in denen sie z. B. als homogene Katalysatoren Anwendung gefunden haben. Lediglich als Beispiele für solche Verbindungen seien folgende in organischen Medien lösliche Metallkomplexverbindungen und die mit ihnen katalysierten Reaktionen genannt: Ni/Al-Komplexverbindungen, z. B.  $i\text{-C}_4\text{H}_9\text{AlCl}_2/\text{NiCl}_2[\text{P}(\text{C}_6\text{H}_5)_3]_2$  für die Dimerisierung von Butadien zu trans-1,4-Hexadien und von Butenen zu Octenen; Co/Al-Komplexverbindungen, z. B.  $i\text{-C}_4\text{H}_9\text{AlCl}_2/\text{CoCl}_2[\text{P}(\text{C}_6\text{H}_5)_3]_2$  für die Dimerisierung von Butadien zu cis-1,4-Hexadien; phosphitmodifizierte Ni/Al-alkylverbindungen für die Herstellung von Cyclooctadien aus Butadien;  $\text{Pd}(\text{CH}_3\text{COO})_2/\text{P}(\text{C}_2\text{H}_5)_3$ -Komplexverbindungen für die Herstellung von Octadien-1,7;  $\text{RuHCl}[\text{P}(\text{C}_6\text{H}_5)_3]_3$  oder  $\text{RhCl}[\text{P}(\text{C}_6\text{H}_5)_3]_3$  für die homogene Hydrierung von Olefinen;  $\text{RhCO}[\text{P}(\text{C}_6\text{H}_5)_3]_2$  für die Hydroformylierung von Formaldehyd;  $\text{Ni}[\text{P}(\text{p-C}_6\text{H}_4 \cdot \text{CH}_3)_3]/\text{H}^+$  für die Hydrocyanierung von Butadien;  $\text{Ir}(\text{COD})[\text{P}(\text{C}_6\text{H}_{11})_3]\text{Py}$  (COD = 1,5-Cyclooctadien, Py = Pyridin) für die Hydrierung cyclischer Alkene;  $\text{RuCl}_2[\text{P}(\text{C}_6\text{H}_5)_3]_3$  für die Hydrierung endständiger Alkene;  $[\text{Ru}(\text{BINAP})(\text{ClO}_4)_2]$  (BINAP = 2,2'-bis(diphenylphosphino)-1,1'-binaphthyl) für die asymmetrische Hydrierung olefinischer Doppelbindungen;  $\text{HRhCO}[\text{P}(\text{C}_6\text{H}_5)_3]_3$  für die Hydroformylierung alpha-olefinischer Verbindungen wie Allylalkohol;  $\text{Pd}[\text{P}(\text{C}_6\text{H}_5)_3]_4$  für die nukleophile Alkylierung von Allylsystemen und die funktionalisierende Oligomerisation von Butadien; Rhodiumkomplexverbindungen wie  $\text{HRhCO}[\text{P}(\text{C}_6\text{H}_5)_3]_3$  und solche, die als Liganden Triphenylphosphan oder Alkyl- oder Arylammoniumsalze sulfonierter oder carboxylierter Triarylphosphane der allgemeinen Formel



enthalten. Diese Verbindungen und ihre Verwendung werden im folgenden noch etwas näher betrachtet. Es ist aber selbstverständlich nicht beabsichtigt, den Umfang der Erfindung auf die Abtrennung dieser speziellen Verbindungsklasse zu beschränken. In der obigen allgemeinen Formel bedeuten X einen Sulfonat- $(-\text{SO}_3^-)$  oder Carboxylatrest  $(-\text{COO}^-)$ ,  $x^1, x^2, x^3$  0 oder 1,  $\text{R}^1, \text{R}^2$  jeweils gleiche oder verschiedene Alkylreste mit 4 bis 12 Kohlenstoffatomen oder Aryl- oder Cycloalkylreste mit 6 bis 12 Kohlenstoffatomen und  $\text{R}^1$  darüber hinaus noch Wasserstoff.

In solchen Katalysatorsystemen sind als Ligandanionen besonders geeignet di- und trisulfonierte bzw. -carboxylierte Triphenylphosphane. Die Verbindungen brauchen nicht in reiner Form eingesetzt zu werden, sondern können auch als Gemisch von di- und trisubstituiertem Phosphan Anwendung finden.

Die Kationen der Liganden leiten sich von sekundären bzw. tertiären Aminen ab. Bevorzugt werden Amine, die insgesamt 16 bis 36 Kohlenstoffatome enthalten. Beispiele sind Di-2-ethylhexylamin, Diisooctylamin, Diisononylamin, Tri-n-octylamin, Triisooctylamin, Triisononylamin, Triisodecylamin.

Außer den Phosphanen können die Rhodiumkomplexverbindungen noch weitere Liganden wie H, CO-Amine,  $\pi$ -Aromaten, z. B. Cyclopentadienyl oder  $\pi$ -Olefine wie 1,5-Cyclooctadien enthalten.

Die Rhodiumverbindungen bilden zusammen mit dem im Überschuß vorliegenden Phosphanliganden ein Katalysatorsystem, das, homogen im organischen Reaktionsmedium gelöst, z. B. bei der Hydroformylierung olefinisch ungesättigter Verbindungen eingesetzt werden kann. Unter den Begriff olefinisch ungesättigter Verbindungen fallen geradkettige und verzweigte Olefine unabhängig von der Lage der Doppelbindung im Molekül sowie Cycloolefine wie n-Hexen-1, n-Hepten-1, n-Octen-1, n-Nonen-1, Diisobutyl-, Tripropylen-, Cyclohexen-, Cycloocten. Zu den olefinisch ungesättigten Verbindungen zählen auch Diene wie 1,3-Butadien, 1,5-Hexadien und Dicyclopentadien sowie Verbindungen, die funktionelle Gruppen enthalten wie Acrylsäure, Acrylsäureester, Acrylnitril, Methacrylsäure, Methacrylsäureester, Vinylester, Vinylether und Acrolein.

Das bei der Hydroformylierung der olefinischen Verbindung entstehende Reaktionsgemisch enthält z. B. im

wesentlichen das Reaktionsprodukt, einen Aldehyd, Nebenprodukte wie den vom Aldehyd abgeleiteten Alkohol sowie höher siedende Additions- und Kondensationsprodukte des Aldehyds. Außerdem kann noch ein Lösungsmittel, das als Reaktionsmedium dient, vorliegen.

Bevor die organischen Komponenten des Reaktionsgemisches z. B. durch Destillation isoliert werden, trennt man im allgemeinen die Rhodiumkomplexverbindung ab. Sie liegt in der Mischung üblicherweise in einer Konzentration von 1 bis 1000, insbesondere von 3 bis 400 und vorzugsweise 20 bis 200 ppm vor. Nach der neuen Arbeitsweise ist es nunmehr möglich, die Rhodiumverbindung nahezu vollständig aus dem Reaktionsprodukt abzutrennen. Von besonderer Bedeutung ist in diesem Zusammenhang, daß die Rhodiumverbindung in einer Form zurückgewonnen wird, die ihren unmittelbaren Wiedereinsatz in der Synthese erlaubt.

Nachfolgend wird die Herstellung einer Membran von der Art beschrieben, wie sie nach dem erfindungsge-  
mäßigen Verfahren eingesetzt werden kann und in den sich anschließenden Beispielen die Abtrennung von metallorganischen Verbindungen bzw. von Metallcarbonylen aus Reaktionsgemischen mit ihrer Hilfe gemäß der neuen Arbeitsweise.

#### Herstellung der Membran

Das Polyaramid wird durch Kondensation von

97 — 99 mol-% Terephthalsäuredichlorid,  
25 mol-% p-Phenylendiamin,  
25 mol-% 1,4-Bis(4-aminophenoxy)benzol  
50 mol-% 3,3'-Dimethylbenzidin

in N-Methylpyrrolidon als Lösungsmittel hergestellt. Terephthalsäuredichlorid setzt man in einer solchen Menge ein, daß das Polyaramid einen Staudinger-Index von 200 bis 300 ml/g hat. Die Lösungsmittelmenge wird so bemessen, daß eine etwa 7 Gew.-% Polykondensat enthaltende Lösung entsteht. Nachdem die Kondensation erfolgt ist, wird der locker an das Lösungsmittel gebundene Chlorwasserstoff durch Zugabe von 100 mol-% CaO neutralisiert. Anschließend löst man in dem Reaktionsgemisch unter Rühren 5 Gew.-% (bezogen auf die Polymerlösung) wasserfreies Calciumchlorid. Die Lösung wird gelinde erwärmt, filtriert und entgast. Sie kann unmittelbar zur Membranherstellung verwendet werden.

Es ist möglich, die Membran trägerfrei oder auf einem Polyestervlies als Träger herzustellen. Im folgenden wird die Herstellung einer trägerfreien Membran beschrieben. Die leicht erwärmte Polyaramidlösung wird mit einer Rakel auf einer Glasplatte zu einem gleichmäßigen Film von etwa 150 µ ausgezogen und in ein Wasserbad von 2° C eingetaucht. Nach etwa 20 min zieht man die Membran von der Glasplatte ab und legt sie 5 min in 100° C heißes Wasser. Darauf gibt man die Membran in i-Propanol, um die Porenflüssigkeit Wasser gegen den Alkohol auszutauschen. Anschließend wird die Membran etwa 10 h in Toluol gelegt, nach dieser Behandlung ist sie zur Durchführung der Trennungen geeignet. Bei allen Operationen ist darauf zu achten, daß die Membran nicht austrocknet.

#### Beispiel 1

Nachstehend wird die Abtrennung des aus einer Rhodiumkomplexverbindung und dem Triisooctylammoniumsalz von Tris(m-sulfophenyl)-phosphan bestehenden Katalysator aus dem Rohprodukt der Hydroformylierung von Dicyclopentadien (DCP) beschrieben.

Die Trennung wird mit 2646 g Rohprodukt durchgeführt, das TCD-monoaldehyd und -dialdehyd (TCD = Tricyclodecan) im Gewichtsverhältnis 18 : 98,2, 24,8 ppm Rhodium (entsprechend 65,6 mg), 698 ppm Gesamtphosphor, d. h. P(III) und P(V) (entsprechend 1846,9 mg) davon 17,4 mmol P(III)/kg (entsprechend 1427,2 mg) sowie Toluol als Lösungsmittel enthält.

Das Rohprodukt wird bei 40° C und einem Druck von 0,5 MPa, einer Metallzelle, die mit einer Membran nach der vorstehenden Vorschrift hergestellten, von etwa 20 cm<sup>2</sup> Fläche versehen ist, zugeleitet. Nicht durch die Membran hindurchtretende Lösung wird mit einer Geschwindigkeit von etwa 8 l/h im Kreis geführt. Die Überströmgeschwindigkeit beträgt etwa 0,15 m/sec.

Nach Beendigung des Versuchs erhält man 2139,4 g Permeat (81% des Einsatzes) und 486,6 g Retentat (18,4% des Einsatzes). Im Permeat finden sich 357,3 mg Gesamtphosphor (19,3% des Einsatzes), davon 172,4 mg als P(III)-Verbindung (12,1% des Einsatzes) und 2,29 mg Rhodium (3,5% des Einsatzes). Im Retentat sind 77,9% des Gesamtphosphors (bezogen auf Einsatz), und 95% des Rhodiums (bezogen auf Einsatz) enthalten. Der Permeatfluß beträgt zu Beginn der Trennung 12 l/(m<sup>2</sup> · h), bei Beendigung des Versuchs 5 l/(m<sup>2</sup> · h).

Unter den Temperatur- und Druckbedingungen des ersten Trennschrittes werden 1933 g des Permeats einer zweiten Membranfiltration unterworfen. Der Permeatfluß beträgt zu Beginn des Versuchs 17,5 l/(m<sup>2</sup> · h), bei Beendigung 10 l/(m<sup>2</sup> · h). Die Ergebnisse der Trennung sind in der folgenden Tabelle 1 zusammengestellt.

# DE 38 42 819 A1

Tabelle 1

	Permeat	Reten- tat
Menge (% v. E.)*)	73,1	7,2
P III (% v. E.)	8,8	13,1
Gesamt-P (% v. E.)	5,6	13,2
Rh (% v. E.)	0,4	4,3

\*) v. E. = vom Einsatz

Beispiel 1 zeigt, daß bei Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens über 99,5% des Rhodiums und 94,4% der Phosphor(III)-Verbindung zurückgehalten werden.

Beispiel 2

Die vereinigten Retentate aus Beispiel 1 werden als Katalysator zur Hydroformylierung von DCP in Toluol als Lösungsmittel verwendet. Nach Beendigung der Reaktion ergibt sich aus der GC-Analyse ein Umsatz von 97,8% und ein Verhältnis von Monoaldehyd zu Dialdehyd von 2,0 : 98,0. Der Permeatfluß beträgt bei 40°C und 0,5 MPa Druck zu Beginn 10,5 l/(m<sup>2</sup> · h) und gegen Ende der Trennung 3,6 l/(m<sup>2</sup> · h). Die Rückhalteraten entsprechen denen des Beispiels 1.

Beispiel 2 zeigt, daß nach dem erfindungsgemäßen Verfahren das Katalysatorsystem und überschüssiger Ligand abgetrennt und in aktiver Form rezirkuliert werden können.

Beispiel 3

Auch Lösungen, die Metallkomplexverbindungen in höherer Konzentration enthalten, können erfolgreich nach der neuen Arbeitsweise behandelt werden. Das Produkt der Hydroformylierung von DCP unter Verwendung des Katalysatorsystems von Beispiel 1, jedoch mit einer Rh-Konzentration von 102 ppm, wird als Ausgangsmaterial verwendet. Es enthält TCD-dialdehyd, 16,5 mmol P(III)/kg, 681 ppm Gesamtphosphor und daneben Toluol als Lösungsmittel.

Die Trennung erfolgt unter den Temperatur- und Druckbedingungen und unter Verwendung der Zelle des Beispiels 1. Im 1. Durchgang beträgt der Permeatfluß zu Beginn des Versuchs 10 l/(m<sup>2</sup> · h) und am Ende 3 l/(m<sup>2</sup> · h); im 2. Durchgang, in dem das Permeat der ersten Trennung eingesetzt wird, 17 bzw. 9 l/(m<sup>2</sup> · h).

Die Ergebnisse der Trennung sind in Tabelle 2 zusammengestellt.

Tabelle 2

	Permeat		Retentat	
	I	II	I	II
Menge (g)	2383,0	2119	403,8	217
P III (% v. E.)	12,9	8,7	67,0	12,3
P (% v. E.)	16,8	6,3	76,5	12,0
Rh (% v. E.)	2,5	0,2	96,3	2,9

Beispiel 3 zeigt, daß sich auch bei höheren Rhodiumkonzentrationen der Rückhalt des Metalls und des Liganden nicht verschlechtern.

Beispiel 4

420 g eines Produkts aus der Hydroformylierung von Hexadien-1,5 mit Rhodium und Triphenylphosphan als Katalysator werden unter Verwendung der Membranzelle des Beispiels 1 nach dem erfindungsgemäßen Verfahren getrennt. Das Oxorohprodukt enthält 333 ppm Rh und 30% Toluol. Das Verhältnis Monoaldehyd zu Dialdehyd ist 15 zu 85. Der Permeatfluß bei 40°C beträgt 5 l/(m<sup>2</sup> · h).

Die Membranfiltration führt zu den in Tabelle 3 zusammengestellten Ergebnissen:

Tabelle 3

	Permeat	Retentat
Menge (g)	137 (32,4% v. E.)	270 (67,5% v. E.)
Rh (ppm)	192 (19% v. E.)	400 (81% v. E.)

Wie ersichtlich, werden 80% des im Rohprodukt enthaltenen Rhodiums abgetrennt.

Die folgenden Beispiele weisen die vorteilhaften physikalischen Eigenschaften der erfindungsgemäß verwendeten Membranen nach. Es wird eine nach der vorstehenden Vorschrift hergestellte und in einer Zelle angeordnete Membran von durchschnittlich 270  $\mu$  Dicke verwendet.

Zur Trennung wird das Reaktionsgemisch aus der Hydroformylierung von DCP mit Rhodium und dem Triisooctylammoniumsalz von Tris(m-sulfophenyl)-phosphan als Katalysator eingesetzt. Die Rhodium-Konzentration im Oxorohprodukt beträgt 25,4 ppm, es enthält ferner 23,4 mmol Gesamt-P/kg, 0,013 mmol P(III) und etwa 55% Toluol. Das Verhältnis von Monoaldehyd zu Dialdehyd ist 2 zu 98. Der Rh- und P-Rückhalt in den folgenden Beispielen 5 bis 10 liegt in der gleichen Größenordnung wie in den Versuchen des Beispiels 1.

#### Beispiel 5

Zur Konditionierung wird die Membran nach Messung ihrer Dicke zunächst mit Aceton, dann mit Isopropanol gewaschen und isopropanolfeucht in die Apparatur eingebaut. Unmittelbar darauf wird die Apparatur mit Toluol gefüllt und das Isopropanol von der Membran durch Auswaschen verdrängt.

Anschließend wird bei 25°C und 0,3 MPa Druck der Permeatfluß gemessen. Er stabilisiert sich sehr schnell von anfangs 22 l/(m<sup>2</sup> · h) bei 18 bis 19 l/(m<sup>2</sup> · h).

#### Beispiel 6

Um den Permeatfluß und die Eigenschaften der Membran gegenüber einem rhodium- und phosphanfreien, rohen TCD-dialdehyd aus der Hydroformylierung von DCP zu ermitteln, wird das Toluol durch ein auf andere Weise von Rhodium und Phosphan befreites Produkt verdrängt. Der Permeatfluß der Membran ändert sich nicht.

Dieser Versuch zeigt, daß die Membran im Oxorohprodukt stabil bleibt, d. h. keine Quellung erfolgt.

#### Beispiel 7

Bei 0,3 MPa und 25°C wird die Membran mit dem oben beschriebenen Oxorohprodukt beschickt. Über eine Stunde wird in 12 Messungen der Permeatfluß bestimmt. Es stellt sich momentan ein durchschnittlicher konstanter Permeatfluß von 5,7 l/(m<sup>2</sup> · h) ein.

#### Beispiel 8

Unter einem Druck von 0,5 MPa, im übrigen aber unter den Bedingungen des Beispiels 7, wird über einen Zeitraum von 30 min in 6 Einzelmessungen der Permeatfluß bestimmt. Es wird ein durchschnittlicher Wert von 9,7 l/(m<sup>2</sup> · h) ermittelt. Beispiel 8 zeigt einen fast linearen Anstieg des Permeatflusses mit der Druckdifferenz im Bereich von 0,3 bis 0,5 MPa.

#### Beispiel 9

Durch allmähliche Erhöhung der Temperatur von 25°C auf 40°C steigt der Permeatfluß kontinuierlich auf 13,6 l/(m<sup>2</sup> · h) an. Damit liegt sein Temperaturkoeffizient bei +2,5%/°C.

#### Beispiel 10

Das in den vorangegangenen Beispielen verwendete Rohprodukt aus der Hydroformylierung von DCP wird wieder durch Toluol ersetzt. Der Permeatfluß steigt spontan auf 40 l/(m<sup>2</sup> · h) bei 41°C und stabilisiert sich bei 26 l/(m<sup>2</sup> · h) bei 27°C und 0,5 MPa. Nach 1 h wird der Versuch abgebrochen, die Membran ausgebaut und eine Dickenmessung durchgeführt. Die Dicke bleibt praktisch unverändert.

Beispiel 10 zeigt, daß kein Zusetzen oder Fouling der Membran eintritt und die Membran stabil bleibt.

Die Beispiele 5 bis 10 belegen insgesamt die Leistungsfähigkeit des neuen Verfahrens.

#### Beispiel 11

Die bisher verwendete Membranzelle mit einer nach dem oben beschriebenen Herstellungsverfahren erhaltenen Polyaramidmembran wird mit einem C<sub>9</sub>-Aldehyd aus der Hochdruckhydroformylierung von Diisobutylene mit Rhodium beschickt. Der Rhodiumgehalt, das Metall liegt als Carbonylverbindung vor, im Oxorohprodukt beträgt 4,3 ppm. Das Produkt enthält keinen Phosphor. Der Permeatfluß beträgt zu Beginn des Versuches bei 40°C und 0,5 MPa 39 l/(m<sup>2</sup> · h). Er fällt beim Übergang auf das C<sub>9</sub>-Oxorohprodukt im 1. Durchgang auf 16,8 l/(m<sup>2</sup> · h) ab und beträgt am Ende des Versuchs 11,6 l/(m<sup>2</sup> · h); die Permeatflüsse im 2. Durchgang (Einsatz des Permeats der ersten Trennung) betragen entsprechend 14,5 bzw. 10,1 l/(m<sup>2</sup> · h).

Die Ergebnisse sind in Tabelle 4 zusammengestellt:

Tabelle 4

	Permeat 1	2	Retentat 1	2
Menge (g)	625	517	132	104
Rh (% v. E.)	52	18	35	27,9

Nach Beendigung des Versuchs und Austausch des Oxorohprodukts gegen Toluol wird wieder ein Permeatfluß von 40 l/(m<sup>2</sup> · h) gemessen.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Abtrennung von metallorganischen Verbindungen und/oder Metallcarbonylen aus ihren Lösungen in organischen Medien, dadurch gekennzeichnet, daß man die Lösungen mit einer semipermeablen Membran aus einem aromatischen Polyamid (Polyaramid) in Kontakt bringt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß man die Lösungen unter Druck mit der semipermeablen Membran in Kontakt bringt.
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß man die Abtrennung der metallorganischen Verbindungen und/oder Metallcarbonyle mit Hilfe der semipermeablen Membran als Dialyse durchführt.
4. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Membran aus einem statistischen oder einem Blockcopolyaramid besteht.
5. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß das Polyaramid aus Terephthalsäure, p-Phenylendiamin, 1,4-Bis(4-aminophenoxy)benzol und 3,3'-Dimethylbenzidin als Monomerkomponenten aufgebaut ist.
6. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß das Molekulargewicht, angegeben als Gewichtsmittel des Polyaramids, 5000 bis 200 000, vorzugsweise 10 000 bis 50 000 beträgt.
7. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Membran als Kapillare oder als Hohlaser ausgebildet ist.
8. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Stärke der trennaktiven Schicht der Membran 0,05 bis 5 µ beträgt.
9. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Druckdifferenz über die Membran 0,1 bis 15 MPa beträgt.
10. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Abtrennung der Metallverbindungen bei Temperaturen von 0°C bis 200°C, insbesondere 40 bis 130°C erfolgt.
11. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß sich die metallorganischen Verbindungen von Metallen der Gruppen IVA, VA, VIA, VIIA, VIIIA oder IB des Periodensystems ableiten.
12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die metallorganischen Verbindungen sich von Mangan, Kobalt, Rhodium, Iridium, Nickel, Palladium oder Platin ableiten.
13. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß sich die Metallcarbonyle von Metallen der Gruppen VIA, VIIA oder VIIIA des Periodensystems ableiten.
14. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß sich die Metallcarbonyle von Eisen, Kobalt, Nickel, Ruthenium, Rhodium oder Iridium ableiten.
15. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Konzentration der Metallverbindungen in den Lösungen 2 bis 400 Gew.-ppm (bezogen auf die Lösung) beträgt.